

doi: 10.7690/bgzd.2016.06.002

基于关键链和蒙特卡罗的装备保障训练计划制定

冯星杰^{1,2}, 朱建冲¹, 陈晓山¹

(1. 海军工程大学管理工程系, 武汉 430033; 2. 中国人民解放军 73228 部队, 杭州 311113)

摘要: 为解决当前部队装备保障训练计划制定存在随意性大, 训练进度安排不科学以及训练计划安排不严密等问题, 采用关键链和蒙特卡罗法对其进行研究。通过借鉴运用项目管理中关键链的方法, 对部队装备保障训练计划的制定进行优化分析, 并采用蒙特卡罗法进行仿真验证。仿真结果表明, 关键链进度管理方法比关键路径方法更有优势。该研究可为提高部队装备保障训练效率提供理论支撑, 为其他军事训练计划制定提供有益参考。

关键词: 训练计划制定; 关键链; 蒙特卡罗法

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Equipment Support Training Program Formulation Based on Critical Chain and Monte Carlo Method

Feng Xingjie^{1,2}, Zhu Jianchong¹, Chen Xiaoshan¹(1. Department of Management Science, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;
2. No. 73228 Unit of PLA, Hangzhou 311113, China)

Abstract: Aiming at the problems such as equipment support training plan set too optionally, schedule arranged unscientifically, and the target are set imprecisely, take a cue in project management theory using “critical chain method”, setting buffer and reverse planning specifically, optimizing equipment support and training plan, then, employ Monte Carlo method to verify the effectiveness of the particular method mentioned above. The results show that the critical chain progress management method is better than key path method. The research could provide theoretical support in increasing the efficiency of military’s equipment support and training term, meanwhile, it provides a useful reference for other military training program’s formulation.

Keywords: training program formulation; critical chain; Monte Carlo method

0 引言

美国是最早对项目管理进行研究的国家, 经过多年的发展, 项目管理逐步形成了对人力、物力和时间等资源的系统管理科学。我国对项目管理方法的研究始于 20 世纪 80 年代, 随着我国社会主义市场经济的快速发展与完善, 项目管理越来越受到人们的重视, 并在近年来得到了快速发展。

在进度计划制定方法中, 目前比较常用的主要有关键路径法 (critical path method, CPM) 和计划评审技术 (PERT)。它们主要在缩短工期、降低成本和提高效率方面起着很大的作用^[1], 但同时也存在着没有考虑到资源的约束对项目进度的影响, 忽视了一些人为因素对项目进度产生影响等问题, 使得进度计划执行效果并不理想。

一些新的项目进度管理技术随着科学技术的飞速发展不断出现, 比如 Goldratt 提出了关键链 (critical chain project management, CCPM) 的管理方法, 为了弥补之前项目进度计划管理中的许多不足, 将人的行为因素考虑到了进度计划制定当中。

目前部队对项目进度管理的使用不多, 在制定

训练计划的过程中存在训练计划不严密、时间安排不合理和训练效率不高等问题, 所以需要对项目进度管理进行更为系统的研究; 因此, 笔者利用项目进度管理中的关键链方法, 解决和完善目前部队当前在装备保障训练计划制定中存在的问题, 并利用蒙特卡罗法对关键链方法所制定的装备保障训练计划进行仿真, 得出该方法在训练计划制定中的优势。

1 关键链技术

1.1 约束理论

约束理论是 Goldratt 于 20 世纪 80 年代中期在最优化生产技术 (OPT) 基础上发展起来的。

约束理论认为“局部达到最优的总和并不能使全局达到最优”, 必须从全局的角度进行计划制定。强调从全局出发, 就需要重点改进和提高瓶颈资源的利用率, 从而使整个计划的优势最大。要实现这点, 需要找到项目的制约因素, 通过对系统资源的统一协调管理, 保证瓶颈资源可以得到充分利用。项目进度管理是约束理论主要应用的范围, 同时也成为关键链方法产生的基础。

收稿日期: 2016-02-05; 修回日期: 2016-02-28

作者简介: 冯星杰(1991—), 男, 福建人, 硕士, 从事装备保障研究。

约束理论通常的应用步骤如图 1，具体^[2-3]为：

- 1) 根据初步计划，确认约束任务的因素；
- 2) 进一步确认约束的根本原因，尽可能找出提高瓶颈资源利用率的方法；
- 3) 提升约束的能力，按资源性质对其进行调配，重点保证瓶颈资源，之后进行非瓶颈资源调配；
- 4) 经采取上述措施，若原约束消除，重回第一部，开始新一轮约束处理，直至项目所有的约束均已得到解决。

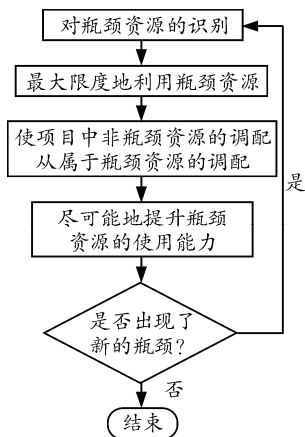


图 1 约束理论的应用步骤

1.2 关键链技术的基本思想

关键链技术(Critical chain)是 Goldratt 约束理论运用于项目管理上的结果^[4]。关键链着眼于瓶颈、系统，在项目管理中将约束理论中的核心思想加以运用并发展，重点关注对项目造成影响的项目实施中的不确定因素，是项目管理技术的新发展^[5-6]。

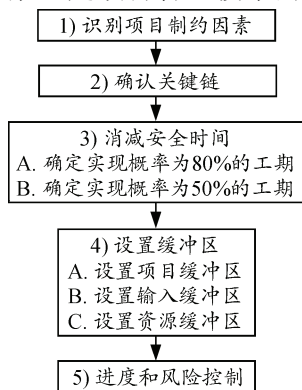


图 2 关键链法的应用步骤

关键链是指将关键路径上的关键资源链接起来，得到的一串依存步骤。由资源冲突造成的依存路径就是关键链^[7-8]。

关键链在关键路径基础上提出，但却是一种全新的项目管理思想，通过对关键链的控制来控制项目进度，从而达到解决那些有资源冲突的项目的进度管理问题；因此，用关键链来进行项目进度管理

的重点任务是，当资源受限时项目可以最快完成^[9]。如图 2 所示。

1.3 关键链方法的优点

相较于关键路径法，因关键链法充分考虑到不确定因素及资源约束对项目完成时间的影响，同时由于关键链法可以有效克服人的行为因素对项目完成时间造成的影响，改善关键路径法的工期估计过长等不足；因此，在项目进度管理方法中显得更为科学合理^[10]。其优点包括以下几点：

- 1) 由于不单考虑了各工序的逻辑关系，同时也充分考虑到不确定因素及资源约束对项目的影 响，因此关键链法制定计划时更具优势；
- 2) 由于关键链法考虑到人的行为因素(学生综合症、帕金森氏症等)对项目完成时间造成的影响，将各工序的安全时间进行削减，因此可有效改善关键路径法的工期估计过长、项目容易延误等不足；
- 3) 为了有利于项目管理者从系统的角度考虑问题，关键链法注重于项目整体目标，从而将削减的安全时间集中起来，统一在项目计划末端作为项目缓冲区进行管理，通过对缓冲区的监控可以更好地对项目计划的执行情况进行管理；
- 4) 为了保证资源调配和准备的提前性，关键链法由于设置了资源缓冲区，故可以在任务开始前对项目成员提前进行预警，这样有利于防止因资源缺失造成项目进度延误；
- 5) 为了防止非关键链任务延误造成关键任务无法正常开始，在任务结合处设置了汇入缓冲，从而保证了项目进度管理的有效性；
- 6) 关键链法由于确定了项目进行过程中的重点任务，因此有利于项目管理者将更多的时间和精力放在此类重点任务上，使其工作有主次之分，更好的对项目进展进行监控；
- 7) 由于管理者需要重点关注那些缓冲区消耗较多的任务，因此关键链法采取缓冲区管理实现对项目实际进度的监控，这样可以合理安排工作，协调和集中资源解决重要问题；
- 8) 由于设置了项目缓冲时间，因此关键链法制定的进度计划相较于关键路径法更具柔性，延误被缓冲区吸收，不会对基准计划造成明显影响，有利于项目计划稳定性的保持。

2 装备保障训练计划制定

2.1 装备保障训练计划定义

装备保障训练是军事训练的重要组成部分，是

装备机关和装备保障部(分)队进行装备保障理论教育和技能教练等活动,是提高装备指挥员、机关组织指挥能力及装备部(分)队保障能力的有效手段。

装备保障训练计划是组织实施装备保障训练的基本依据,是对未来一定时期内装备保障训练全面工作或某项、某方面工作的具体部署和安排。装备保障各指挥员、机关肩负着组织指导所属装备保障部(分)队实施装备保障训练的职责,只有提高组织装备保障训练的能力,系统、全面地掌握装备保障训练理论和实践问题,从难从严、从实战触发,不断改进训练内容、方法和手段,才能不断提高装备保障训练水平,不断促进装备保障训练的全面发展。

2.2 计划制定中存在的问题

许多部队机关领导在制定装备保障时依然存在“拍脑袋”现象、对部队装备情况了解不充分、组织训练时没有有效的评估手段、训练计划与部队实际保障能力不符合等问题,使实际训练效果无法达到要求,从而影响了部队装备保障训练的效率。

运用关键链法制定装备保障训练计划,可以克服许多人为因素所带来的延误任务进度的影响。

1) 学生综合症^[11]。

所谓学生综合症就是指不管花多少时间,总在最终期限时间到来前才完成。就好比在学校中,老师给学生布置作业要求 5 天完成,学生通常会在老

师原来的期限上再宽限几天,这样减少了学生们心里的紧张感,在任务最后期限前才开始做,结果往往浪费了时间,或者无法按照规定时间完成任务。装备保障训练计划制定和此问题具有相似性。

2) 根据每个项目的特点和要求建立起与之相对应的分解结构,是项目施工计划和实施过程的必然要求,然而所有的管理人员都不希望工期延误的现象出现在自己所管理的项目中,往往会在估计的工期基础上加上一定的安全工期。这就导致管理层越多,各管理层会考虑到自身利益不受侵害,工期计划中安全时间储备也就越多,造成了项目完成时间的拖延。

3) 帕金森定律(Parkinson's Law)也称为“官场病”。帕金森定律表明:在管理中,管理机构会像金字塔一样不断增加,工作人员也会不断增加,虽然每个人都很忙,只要还有多余的时间,往往会造成工作拖沓,把所有时间都花光,造成效率低下。

4) 墨菲定律。

墨菲定律主要内容:要完成的事情总是会比你预计的时间要长;事情没有自己第一眼表面看上去那么简单;越怕出事,就越会出事;墨菲定律所表达的意思是,如果一件事情有多种方法可供选择,其中有一种方式可能导致出错,那么肯定会有人选择那种方式^[12]。

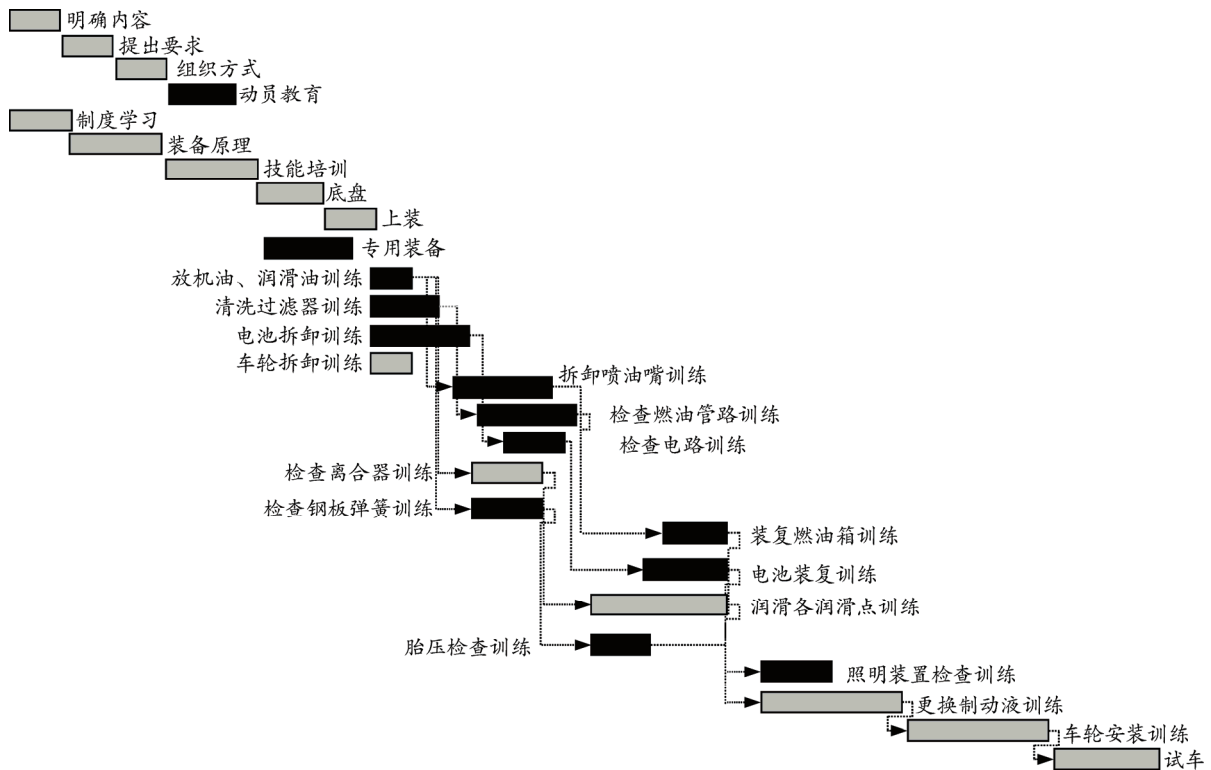


图 3 某部队装备保障训练任务甘特图

3 实例分析

部队装备保障车辆维修训练是装备保障训练的重要组成部分，不仅对于部队装备保障整体训练能力有进一步的提升，并且对官兵装备保障能力水平提高起着重要的作用。笔者利用关键链技术，以部队装备保障车辆维修训练计划为例，利用甘特图对

训练计划进行分析，运用工作分解结构(WBS)工具，把装备保障训练过程细分为若干道工序，运用关键链技术编制进度计划。

某部队装备保障维修训练的甘特图如图 3。

根据训练计划，绘制出车辆维修保障训练计划的网络图如图 4 所示。

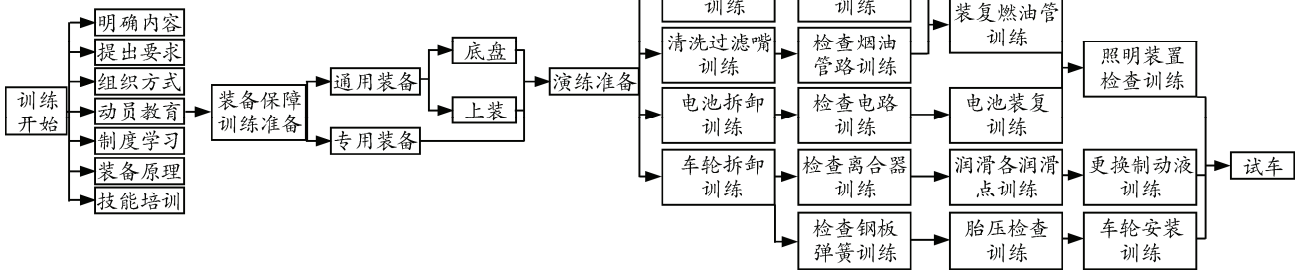


图 4 某部队车辆维修保障训练计划网络图

3.1 对进度进行逆向计划

逆向计划使部队训练以结束时间为准，开始时间最晚，其目的在于克服学生综合症、帕金森症等问题带来的延误训练的制约因素，从而提高训练时

间的利用率，如图 5 所示。

3.2 设置训练时间缓冲

缓冲长度计算方法很多，较常见的有平方和的平方根法(square root of squares, SRSS)和 50%法。



图 5 逆向计划

SRSS 法是根据概率统计数学方法得到的。因此可得：

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

由于 SRSS 输入麻烦，其假设每个任务的工期变化都是独立的，不太符合实际情况；因此，笔者主要采用 50%法来进行讨论。

50%法首先确认每项完成任务所需要的时间，在总时间的基础上削减 50%的时间，对时间进行重新估计，确立关键链，将各任务剩余的 50%的时间放到关键链最后的缓冲区里考虑，来缩短训练时间。

$$Buffer = \frac{1}{2} \sum_{(i,j)} D_{ij}^{50\%}$$

在关键链后设置的项目缓冲区不需要消耗任何资源，项目缓冲区的时间为各任务剩余的 50%的时间总和，如图 6~图 7 所示。

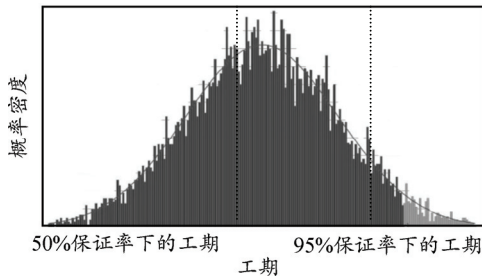


图 6 工序工期估计正态分布

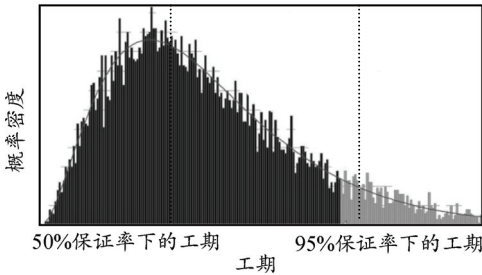


图 7 工序工期估计偏态分布

设置缓冲区的优势在于缓冲区可以为任务的施训者提供一个清晰的进度情况指示表，这样施训者可以通过观察缓冲区的变化，及时充分地了解任务的完成情况，并对当前任务中所存在的问题进行及时调整，从而确保任务不会造成拖延。

关键链缓冲区管理机制将整个缓冲区划分为 3 个区域，分别是 1/3 处、2/3 处，以及整个缓冲区。如图 8 所示。

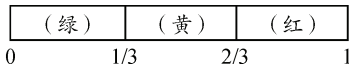


图 8 关键链将缓冲区划分为 3 层

当缓冲区的消耗小于缓冲区总量的 1/3 时，说明此时任务进行的比较顺利，没有出现延误的现象，可以继续对任务进行监视，不用采取任何措施进行调整；因此，该区域是安全缓冲区。

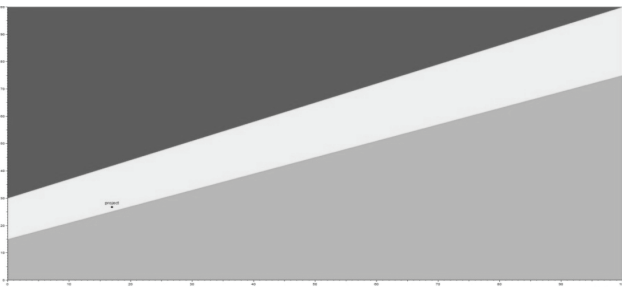


图 9 项目缓冲状态

当缓冲区的消耗大于总缓冲区的 1/3，小于 2/3 时，说明此时任务进行过程中可能出现某些延误，施训者必须找出任务进行过程中出现延误的环节，

并找出相应的解决方案，从而确保任务不会造成进一步的延误。因此，该区域是注意缓冲区。

当缓冲区的消耗大于总缓冲区的 2/3 时，此时施训者必须严密监视任务进行的各个环节，因为此时任务进度已出现严重的延误，需要施训者及时找出新的施训方案，调整训练计划，防止任务无法按时完成。因此，这部分被称为危险缓冲区，如图 9。

通过观察项目缓冲状态图，施训者可以更清楚地掌握部队训练的当前状态，从而更好地把握整个训练过程的进度，及时避免缓冲状态进入危险区域而导致的训练没法按时完成、训练效率不高等问题。

4 蒙特卡罗法仿真及验证

4.1 基于蒙特卡罗法的装备保障训练计划仿真

蒙特卡罗仿真是在所研究的任务中，进行随机数分布，通过抽样的方式来进行仿真，对所得到的结论进行处理，从而得到解决问题的方法，如图 10。

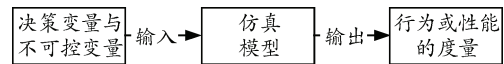


图 10 仿真模型结构图

在项目进度管理中，三角分布是由 3 个参数来定义，其概率密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(m-a)}, & (a \leq x \leq m) \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-m)}, & (m \leq x \leq b) \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其分布函数为

$$F(x) = \begin{cases} 0, & (x < a) \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a)(m-a)}, & (a \leq x \leq m) \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-m)}, & (m \leq x \leq b) \\ 1, & \text{其他} \end{cases}$$

Crystal Ball 能够自动执行蒙特卡罗仿真，具体过程如下：

- 1) 建立任务计划的仿真模型，并用公式表示出各个任务之间的逻辑关系；
- 2) 设定抽样次数，进行仿真；
- 3) 对所得到的结果进行总结与分析。

运用 Crystal Ball 进行仿真，需要建立好装备保障训练计划的仿真模型，并在 Crystal Ball 的 Distribution Gallery 里选择合适的分布类型，能够适应常见的分布需要。首先用公式表示出各任务的先后关系；之后将随机的任务时间所在单元格设置为

假设单元，为其设定一个适当的分布，将任务的最早完成时间所在单元格设置为预测单元；最后将重复抽样次数设定好，就可以进行仿真^[13]。

在 Excel 中列出序号和各任务名称，并对装备保障训练计划中各任务进行排序。然后输入各个任务完成的乐观时间、期望时间以及悲观时间，并计算各个任务之间最早开始时间以及最早结束时间。

4.2 仿真数据分析

笔者主要通过 Crystal Ball，并利用 CPM 和 CCPM 方法，对装备保障训练计划进行模拟仿真。为了能够更为准确地仿真出结果，笔者将 Crystal Ball 重复试验的次数设定为 10 000 次，并将抽样方式设为 Monte Carlo，运行得到结果如图 11~图 12。

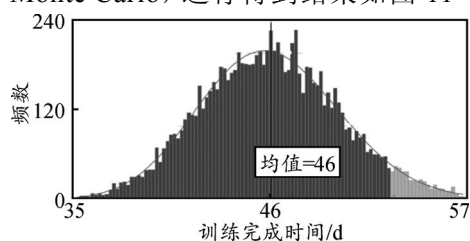


图 11 CCPM

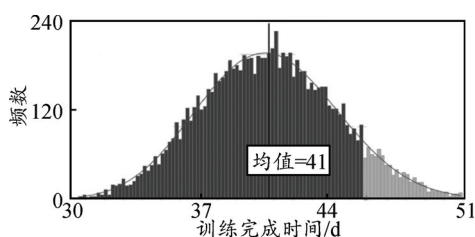


图 12 CPM

利用蒙特卡罗法对部队装备保障训练计划情况进行仿真，通过图 11~图 12 对比可以看出：采用关键链进度管理模型，通过项目缓冲区的设置，训练完成时间与关键路径方法相比平均值要短 5 d，并且采用关键链管理所得出的工期包含了缓冲区，只要好好利用缓冲区，实际上要小于仿真结果。总体来说，关键链进度管理方法比关键路径方法有优势。

5 结束语

关键链法不同于传统的项目进度管理模式，笔者主要研究和探讨了将关键链方法应用于部队装备保障训练计划制定过程中的技术途径。通过综合考虑部队装备保障训练计划的资源分配，运用关键链法可以弥补传统进度管理方法的不足，使制定的装备保障训练计划更贴近实际、可行，以提高项目进度计划的有效性和稳定性，避免训练计划执行不力。

笔者通过建立装备保障训练计划的甘特图，对其进行建模，利用 Crystal Ball 进行蒙特卡罗仿真获

得相关统计量，得出了以下结论：

1) 由于关键链通过设置时间缓冲，可充分考虑到任务资源对总体任务产生的约束影响，各个工序之间需要的时间，通过缓冲区吸收不确定因素所产生的波动，使得关键链法比关键路径法更具优势，成为一种稳定的装备训练计划制定方法。

2) 通过关键链法对部队装备保障训练计划制定问题进行研究，提出基于优先规则的启发式算法解决关键链项目进度计划的编制问题，并通过蒙特卡罗法进行了仿真，文中提出的方法更优于传统的项目进度管理方式。

3) 通过监控缓冲区消耗情况，根据项目进度完成过程中的不同情况，观察任务进行过程中消耗的缓冲时间，采用不同的控制措施，提高部队装备保障训练的稳定性。

由于关键链问世时间不长，在部队装备保障训练计划制定领域使用的例子也很少。笔者通过使用关键链法证明：该方法不仅可用于装备保障训练计划制定，同样可用于部队其他问题的优化，对未来部队提高训练效率和战斗力提供了一种新的方式。

参考文献：

- [1] 徐红岩. 关键链管理在工程项目进度管理中的运用研究[D]. 西安: 长安大学, 2011: 2-3.
- [2] STEYNH. An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling[J]. International Journal of Project Management, 2000, 19(6): 363-369.
- [3] 褚春超. 工程项目进度管理方法与应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2006: 91-93.
- [4] 左飞. 关键链项目管理的缓冲设置方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011: 2-4.
- [5] 朱业胜. 关键链在手机研发项目进度管理中的应用研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2010: 15-17.
- [6] 马国丰, 屠梅曾. 基于关键链技术的项目进度管理系统设计与实现[J]. 上海交通大学学报, 2004, 12(3): 377-381.
- [7] 张宇. 基于关键链的项目进度管理方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009: 8-10.
- [8] 赵道致, 廖华. 对关键链法的几个认识误区[J]. 工业工程, 2005, 8(2): 4-6.
- [9] 王浩勤. 基于关键链的R研究院A科研项目进度管理研究[D]. 成都: 电子科技大学: 9-12.
- [10] Goldratt E M. Critical Chain[M]. Great Barrington: The North River Press, 1997: 10-15.
- [11] 王林芳. 基于关键链技术的项目进度管理研究[D]. 成都: 西华大学, 2013: 11-13.
- [12] Meredith J R, Mantel S J. 项目管理: 管理新视角[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002: 178-180.
- [13] 孙军, 梁晓. 基于关键链的动态多项目资源配置优化研究: 以研发项目为例[J]. 北京化工大学, 2008, 2(8): 70-73.